

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG Kommission I
Titel der Tagung: Böden - eine endliche Ressource
Veranstalter: DBG, September 2009, Bonn
Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation)
<http://www.dbges.de>

Bilanzierung der Sedimentmassen eines künstlichen Wassereinzugsgebiets mit einem 3D- Strukturmodell

Anna Schneider¹, Thomas Maurer¹ und Horst H. Gerke²

Einleitung

Die räumliche Verteilung und die Eigenschaften der Komponenten des Ausgangsmaterials definieren die Anfangsbedingungen für die Entwicklung von Böden und Ökosystemen. Frühe Phasen der Boden- und Ökosystementwicklung sind wesentlich durch Prozesse der Umlagerung dieser Sedimentbestandteile geprägt. Durch eine Quantifizierung der initialen Anordnung und erster Umverteilungsprozesse der Festphasen-Sedimentmassen kann das Verständnis der Beziehungen zwischen Ausgangsmaterial und sich entwickelnden Böden verbessert werden. Im SFB/TRR 38 wird ein künstliches Wassereinzugsgebiet untersucht. Um die Beziehungen zwischen Strukturen und Prozessen während der initialen Phasen der Ökosystementwicklung besser verstehen zu können, sollen 3D räumlich differenzierte Bilanzen der Sedimente als der Festphase des porösen Bodenkörpers erstellt werden. Ziel dieser Studie ist eine quantitative Bilanzierung der räumlich-zeitlichen Dynamik des Festkörpers als Folge von z.B. erosiven Massenbewegungen sowie eine Analyse der Wechselbeziehungen zwischen Verlagerungen und Sedimenteigenschaften.

¹ Forschungszentrum Landschaftsentwicklung und Bergbaulandschaften (FZLB), Brandenburgische Technische Universität (BTU) Cottbus

² Institut für Bodenlandschaftsforschung, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. Müncheberg
anna.schneider@tu-cottbus.de

Die Basis der Untersuchung bildet die Auswertung digitaler Modelle der Oberflächenstrukturen im Initialzustand sowie in späteren Entwicklungsphasen des Ökosystems.

Untersuchungsgebiet und Methoden

Das ca. 6 ha große Wassereinzugsgebiet „Hühnerwasser“ ist künstlich als schwach geneigter Hang angelegt worden. Eine 2 - 3 m mächtige Tonschicht grenzt das Einzugsgebiet nach unten ab und fungiert als Sperre für Sickerwasser. Über dieser Tonschicht wurde quartäres, überwiegend sandiges Substrat in 2 – 3 m Mächtigkeit aufgebracht. Das Einzugsgebiet ist seit seiner Fertigstellung im September 2005 der un gelenkten Sukzession überlassen (Gerwin et al., 2009). Die Konstruktion des Einzugsgebiets sowie die weitere Entwicklung der Oberfläche wurden durch die Markscheide-reiabteilung der Firma Vattenfall Europe Mining AG, Cottbus, in Ortholufbildern und daraus abgeleiteten Höhendaten dokumentiert. Außerdem werden innerhalb des SFB/TRR 38 hochaufgelöste Höhendaten durch terrestrisches Laserscanning aufgezeichnet. Wir erstellen aus diesen Daten, z.T. in Kombination mit ergänzenden Bohrsondierungen und GPS-Vermessungen, digitale Höhenmodelle (*digital elevation models*, DEMs) der unterirdischen Begrenzung des Einzugsgebiets sowie der Einzugsgebietsoberfläche zu verschiedenen Stadien der Entwicklung. Mithilfe der 3D-GIS-Software GOCAD wird aus den 2D-Geländemodellen ein dreidimensionales Gittermodell konstruiert, das die initiale räumliche Ausdehnung des Einzugsgebiets definiert. Physikalische und chemische Bodeneigenschaften aus einer Rasterbeprobung (Gerwin et al., 2009) werden mittels Kriging auf das digitale Modell übertragen. Die aus photogrammetrischer Luftbilddauswertung und Laserscanning fortlaufend gewonnenen Höheninformationen werden genutzt, um 3D-Modelle von oberflächennahen Volumen- und Massenänderungen zu erstellen: aus jeweils zwei 2D-Modellen der Oberfläche wird je ein 3D-Differenzmodell konstruiert. Volumenänderungen werden aufgelöst in 1 m x 1 m große Zellen ermittelt, in Kombination mit Informationen zu Lagerungsdichten werden daraus Massenänderungen abgeleitet. Basierend auf der

Genauigkeit der verwendeten Höhendaten (Dominik, 2007) werden innerhalb der Modelle Regionen signifikanter Volumenänderung abgegrenzt. Aus den Höhenmodellen werden Geländekennwerte (u.a. Hangneigung, Spezifische Einzugsgebietsgröße, Stream Power Index, Topographic Wetness Index) ermittelt, um die Oberflächenstrukturen zu verschiedenen Zeitpunkten der Entwicklung zu charakterisieren.

Ergebnisse

Aus den Geländemodellen von Tonschicht und Oberfläche des Einzugsgebiets zum Anfangszeitpunkt der Entwicklung wurde ein dreidimensionales Modell des Einzugsgebiets entwickelt (Abb. 1).

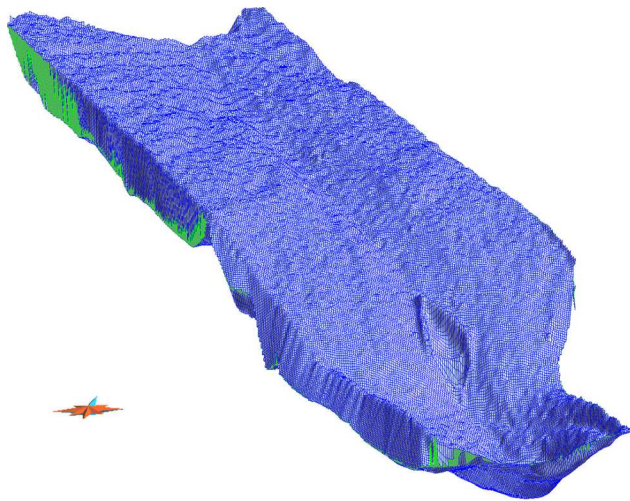


Abb. 1: 3D-Gittermodell des Einzugsgebiets. In blau ist die Aufteilung in Zellen angedeutet.

Aus dem 3D-Modell wurden räumliche Ausdehnung und initiales Sedimentvolumen des Einzugsgebiets abgeleitet (Tab. 1, ausführlicher in Schneider et al. (2010)).

Tab. 1: Größe und Volumen des Einzugsgebiets

Fläche des oberirdischen Einzugsgebiets	59210 m ²
Fläche des unterirdischen Einzugsgebiets	62296 m ²
Gesamt-Sedimentvolumen	122608 m ³ ± 12300 m ³
mittlere Sedimentmächtigkeit	1.93 m ± 0.19 m

Die Übertragung von physikalischen und chemischen Eigenschaften des Sediments auf das Modell durch 3D-räumliche Interpolation macht deutlich, dass sich die westliche und die östliche Seite des Einzugsgebiets vom Ausgangssubstrat her unterscheiden (dargestellt am Beispiel des Sandanteils in Abb. 2).

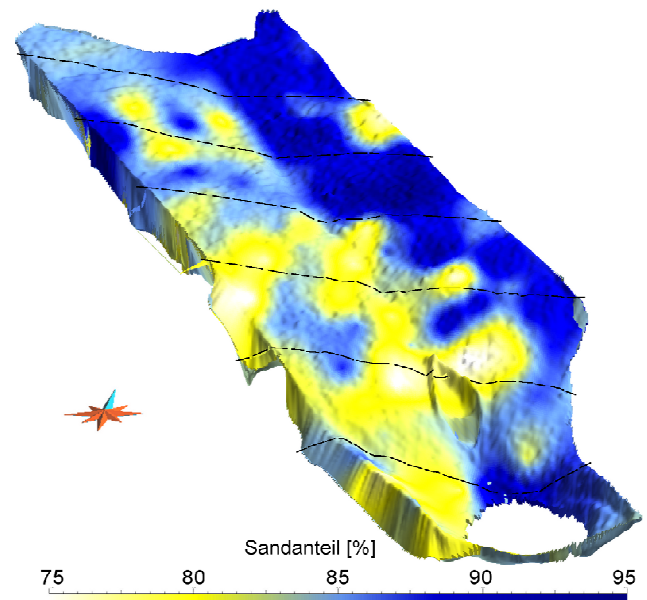


Abb. 2: Ergebnis der 3D-räumlichen Interpolation des Sandgehalts mittels Ordinary Kriging im 3D-Modell.

Anhand der Analyse von Luftbildern aus der Bauphase konnte nachvollzogen werden, dass das Sediment in mehreren Schüttungen zunächst auf der westlichen und östlichen Seite des Einzugsgebiets getrennt aufgetragen und anschließend über die gesamte Fläche ausplaniert wurde. Aus den Luftbildern werden diese Bereiche potentiell verschiedenartiger Ausgangssubstrate digitalisiert, um so Massenänderungen in Subregionen der 3D-Modelle gesondert zu analysieren. Aus photogrammetrisch gewonnenen Höhendaten wurden Geländemodelle der Einzugsgebietsoberfläche zu vier Zeitpunkten der Entwicklung (November 2005, Mai 2006, November 2007 und August 2008) erstellt. Die Volumen- und Massenänderungen an der Oberfläche sowie ihre Raten wurden mithilfe von 3D-Differenzmodellen der drei so definierten Entwicklungsphasen ermittelt. Ein Vergleich der Erosions- und Sedimentationsdynamik in den drei Intervallen zeigt, dass die Umverteilung der Sedimentmassen zunächst räumlich verteilt stattfindet und sich in späteren Entwicklungsphasen eine deutliche räumliche Konzentration der Prozesse in Erosionsrinnen und Schwemmfächern abzeichnet. Aus den mit terrestrischem Laserscanning aufgenommenen Höhendaten (September 2008) wurde ein weiteres Geländemodell abgeleitet. In Kombination mit dem Höhenmodell des Ausgangszustands (November 2005) aus Photogrammetrie wurde ein weiteres 3D-Differenzmodell er-

stellt, um Volumen- und Massenänderungen sowie deren Raten zu berechnen. Da im Höhenmodell aus terrestrischem Laserscanning starke Störungen durch erfasste Vegetation vorliegen, kann in diesem Modell nicht die gesamte Untersuchungsfläche interpretiert werden.

Die Abgrenzung von Regionen signifikanter Volumenänderung zeigt, dass durch den Vergleich zweier DEMs aus photogrammetrischen Daten nur die am stärksten ausgeprägten Erosionsrinnen signifikant erfassbar sind. Die räumlich stärker konzentrierte Sedimentation in den Schwemmfächer im Unterhang ist demgegenüber in großen Teilen signifikant erfasst (Abb. 3). Wird das präzisere DEM aus terrestrischem Laserscanning zur Konstruktion des 3D-Differenzmodells verwendet, können deutlich größere Bereiche signifikanter Erosion ausgegrenzt werden. Die Sedimentation in den Schwemmfächern kann allerdings aufgrund der dort starken Vegetationsbedeckung kaum erfasst werden.

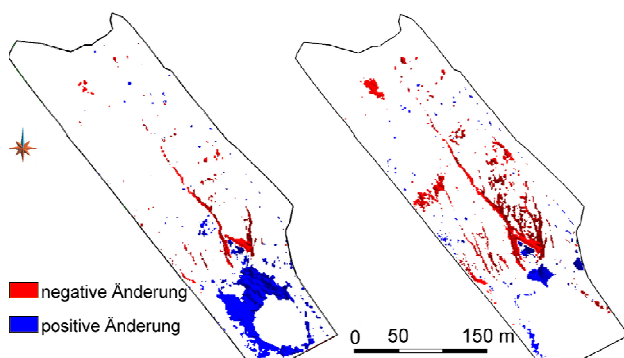


Abb. 3: Bereiche mit zu 68% signifikanter Volumenänderung in Differenzmodellen aus zwei DEMs aus Photogrammetrie (links) und aus DEMs aus Photogrammetrie und Laserscanning (rechts).

Die Aufstellung einer ersten Gesamt-Massenbilanz (Tab. 2) für das Einzugsgebiet zeigt, dass der Massenabtrag durch die verwendete Methode vermutlich stark unterschätzt wird. Dies gilt umso mehr, als der Eintrag von Sediment in den See in den ermittelten Bilanzen nicht berücksichtigt ist.

Tab. 2: Gesamtmassenbilanz für den Zeitraum Nov. 2005 bis Aug. 2008, basierend auf dem Vergleich von zwei DEMs aus photogrammetrischen Daten

	Betroffene Fläche [m ²]	Massenänderung [t]
Massenzunahme	25349	5065.92
Massenabnahme	24340	-2870.03

Eine räumlich getrennte Analyse des Sedimentabtrags im westlichen bzw. östlichen Teil des Einzugsgebiets lässt Unterschiede im Erosionsverhalten erkennen:

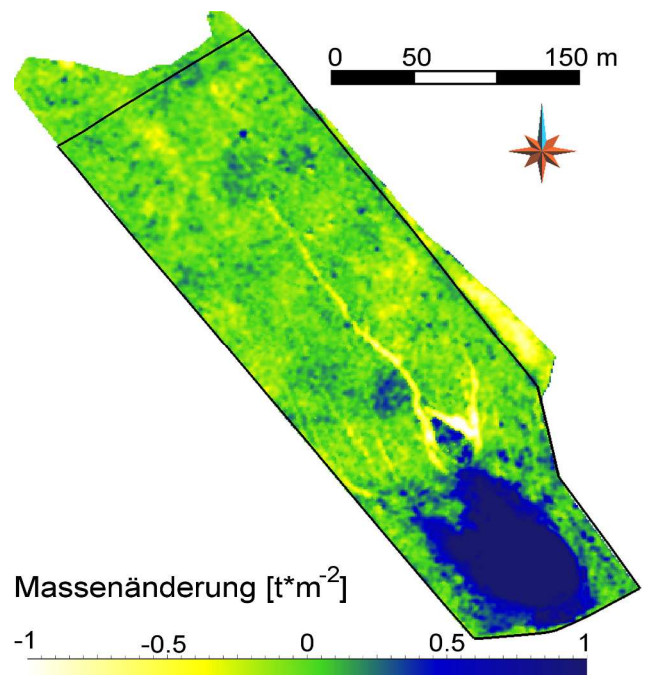


Abb. 4: Erfasste Massenänderungen im Zeitraum zwischen November 2005 und August 2008.

Im östlichen Teil des Einzugsgebiets wurden stärker ausgeprägte negative Volumen- und Massenänderungen erfasst, die zudem räumlich stärker variieren. Die Ergebnisse aus dem 3D-Differenzmodell aus photogrammetrischen Daten bestätigen sich im Vergleich von photogrammetrischen und Laserscanning-Höhendaten (Abb. 5).

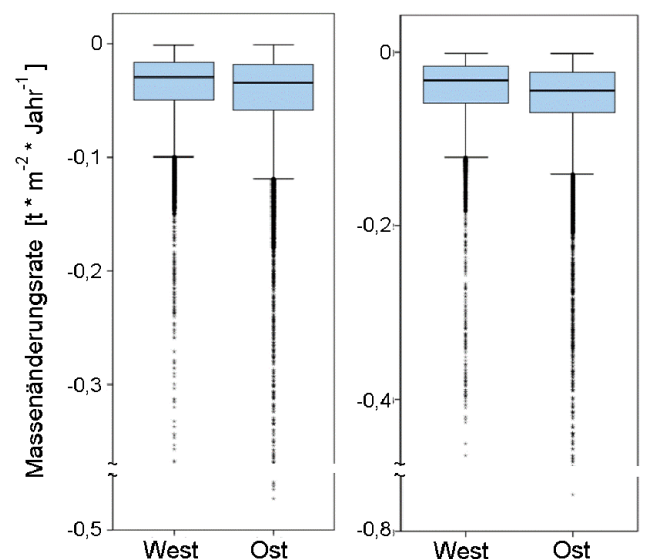


Abb. 5: Unterschiede in den Massenänderungsraten in westlichem und östlichem Teil des Einzugsgebiets. Ergebnis der statistischen Auswertung der Zellwerte aus dem Differenzmodell aus zwei DEMs aus photogrammetrischen Daten (links) und dem Differenzmodell aus DEMs aus photogrammetrischen und Laserscanning-Daten (rechts).

Die ermittelten Geländekennwerte bilden initial vorhandene Oberflächenstrukturen sowie deren weitere Entwicklung ab und lassen erkennen, dass initiale Strukturen weiter bestehen und verstärkt werden (Abb. 6)

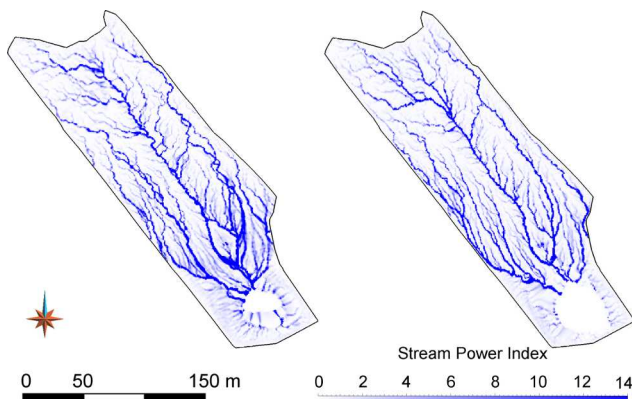


Abb. 6: Stream Power Index (Moore et al., 1991) im November 2005 (links) und August 2008 (rechts).

Ein Vergleich der räumlichen Verteilung von Geländekennwerten und Massenänderungen zeigt, dass Erosion beeinflusst von initial vorhandenen Strukturen stattfindet.

Schlussfolgerungen

Durch die integrative Betrachtung der Strukturen und Prozesse im 3D-Modell können im Einzugsgebiet Bereiche unterschiedlicher Dynamik im Hinblick auf Sedimentverlagerung charakterisiert werden. Erste Ergebnisse zeigen, dass zwischen westlichem und östlichem Teil des Einzugsgebiets sowohl bezüglich der Sedimenteigenschaften als auch hinsichtlich der Erosionsdynamik Unterschiede bestehen. Eine wechselseitige Abhängigkeit von Sedimentstrukturen und Prozessen der Oberflächenentwicklung kann daher angenommen werden.

Dank

Diese Arbeit ist Teil des Sonderforschungsbereichs Transregio 38 (SFB/TRR 38, www.tu-cottbus.de/sfb_trr/). Der SFB/TRR 38 wird von der Deutschen Forschungsge-

meinschaft (DFG, Bonn) und dem Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg gefördert. Wir danken der Vattenfall Europe Mining AG für die Bereitstellung des Untersuchungsgebiets sowie für die Überlassung von Höhendaten aus Luftbildbefliegungen. Vielen Dank auch an Stefan Seifert (Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, TU München) für die Bereitstellung der Höhendaten aus terrestrischem Laserscanning und an Alexander Dümig (Lehrstuhl für Bodenkunde, TU München) und Marin Dimitrov (FZLB, BTU Cottbus) für die Überlassung von Daten.

Literatur

- Dominik, R., 2007. Multitemporale Analyse Digitaler Geländemodelle. Masterarbeit am Lehrstuhl für Bodenschutz und Rekultivierung, BTU Cottbus.
- Gerwin, W., Schaaf, W., Biemelt, D., Fischer, A., Winter, S. and Hüttel, R.F., 2009. The artificial catchment "Chicken Creek" (Lusatia, Germany)-A landscape laboratory for interdisciplinary studies of initial ecosystem development. *Ecological Engineering*, In Press.
- Moore, I.D., Grayson, R.B. and Ladson, A.R., 1991. Digital terrain modeling - a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 5(1): 3-30.
- Schneider, A., Gerke, H.H. and Maurer, T., 2010. 3D initial sediment distribution and quantification of mass balances of an artificially-created hydrological catchment based on DEMs from aerial photographs using GOCAD. *Physics and Chemistry of the Earth*, In review.